

PLANTATIONS

ANNEXE A

A.1 GÉNÉRALITÉS

Comme le démontrent certaines sections du Guide, les plantations et l'usage approprié de différents types de végétation constituent un élément primordial pour l'application de plusieurs pratiques. De façon générale, il sera approprié de confier la conception de ces éléments à des spécialistes qui pourront élaborer des plans d'aménagement bien adaptés tenant compte à la fois des objectifs visés pour la gestion des eaux pluviales, des aspects esthétiques, de l'intégration au tissu urbain et de la durabilité. La présente annexe fournit toutefois un encadrement général pour le développement et la mise en œuvre de ces aménagements, en proposant certaines lignes directrices et, surtout, en mettant en évidence certains éléments qui devraient être pris en compte lors de la conception, de la construction et du suivi.

La végétation joue un rôle fondamental pour plusieurs pratiques de gestion optimales, notamment en interceptant la pluie et favorisant les pertes par évapotranspiration, en filtrant les eaux de ruissellement et en enlevant une partie des nutriments, en réduisant les vitesses d'écoulement et en prévenant la remise en suspension des sédiments (MOE, 2003). La végétation peut également avoir plusieurs fonctions dans un plan de gestion des eaux pluviales (MOE, 2003; Philadelphie, 2006; Vermont, 2002):

- Stabilisation des berges et des talus;
- Prévention de l'érosion;
- Mitigation des impacts sur la température (avec zones d'ombrage) et sur l'oxygène dissous (ce qui influence en retour la croissance des algues);
- La mise en place d'une végétation dense autour d'un

plan d'eau permet de minimiser la présence d'oiseaux sauvages ou d'autres espèces qui peuvent contaminer les bassins;

- Barrière pour limiter l'accès du public aux zones qui pourraient être potentiellement plus à risque;
- Amélioration des liens entre différentes zones, produisant ainsi des zones plus propices pour les habitats;
- Bénéfices esthétiques.

Les éléments généraux à considérer pour la plupart des PGO impliquant l'utilisation de végétation sont les suivants (Vermont, 2002; Philadelphie, 2006; MOE, 2003; Shaw et Schmidt, 2003) :

- **Sols.** Les sols devraient avoir un taux d'infiltration adéquat et permettre la croissance des plantations. Une caractérisation appropriée des sols en place devrait être complétée, incluant minimalement la texture, le contenu de matière organique, le pH, les niveaux d'eau actuels et anticipés dans le sol (ou les conditions d'humidité du sol). Pour le PGO fonctionnant avec des mécanismes impliquant l'infiltration, les taux d'infiltration des sols en place devraient être établis selon le protocole décrit à l'annexe B;
- **Conditions du site.** Les caractéristiques à évaluer incluent les communautés de plantes aux environs, les pentes, les zones ombragées, l'orientation pour l'ensoleillement et le vent. La végétation non désirable aux environs du site devrait être enlevée, en tentant toutefois de préserver au maximum les espèces indigènes en place;
- **Aspects hydrologiques et environnementaux.** Plusieurs facteurs hydrologiques et environnementaux

peuvent avoir un impact très important sur la croissance des plantations. Concernant les aspects hydrologiques, on retrouve la profondeur et la durée de l'inondation, les niveaux d'eau en période d'étiage, la fréquence d'inondation et l'énergie des vagues. Les facteurs environnementaux comprennent notamment les charges en sédiments et polluants, l'apport en sel de déglacage, la turbidité, l'érosion, les plantes nuisibles ou envahissantes et les animaux herbivores.

Les plantes choisies devraient de façon générale être indigènes, non-nuisibles ou non envahissantes. Le choix devrait se faire en considérant plusieurs facteurs, incluant les types de sols en place, les conditions spécifiques du site (avec les caractéristiques régionales climatiques (zones de rusticité)), les aspects hydrologiques et environnementaux, les besoins d'entretien et la disponibilité pour le remplacement et le maintien. Certains principes de base devraient être appliqués pour établir la stratégie de plantation pour les PGO (MOE, 2003) :

- Planifier en tenant compte d'un environnement dynamique, évoluant avec le temps;
- Concevoir pour mettre en valeur la fonction écologique (établissement de lien vert, augmentation du couvert végétal, prise en compte des facteurs qui amélioreront l'intégrité des écosystèmes);
- Considération des contextes écologique, physique et social du site;
- Utiliser des espèces qui sont indigènes pour la région;
- Maximiser la diversité;
- Reconnaître les facteurs humains.

Il faut finalement reconnaître que la sélection des plantes et arbustes les plus appropriés n'est pas simple et qu'elle doit s'appuyer sur des connaissances spécialisées. Les informations contenues à la présente annexe ne peuvent suffire pour servir de base à la conception de ces aménagements et c'est pourquoi on devra de façon générale utiliser des ressources spécialisées pour ce faire. Des détails techniques sont par ailleurs disponibles dans certains guides qui ont été produits pour des régions dont les caractéristiques climatiques s'apparentent à celles du Québec (Vermont, 2002; Philadelphie, 2006; Pennsylvanie, 2006; MOE, 2003; Shaw et Schmidt, 2003; MPCA, 2006; Claytor et Schueler, 1996; New York, 2003; TRCA, 2007). Plus spécifiquement

pour le Québec, un répertoire des végétaux recommandés pour la végétalisation des bandes riveraines est disponible (MAPAQ, 2008).

On retrouvera aux sections qui suivent une discussion sur la tolérance aux sels de déglacage (ce qui doit évidemment constituer un paramètre important pour certaines applications), une classification des plantations selon les zones d'inondation, et, enfin, une description des types de plantations par type de PGO (bassin de rétention, PGO avec infiltration, biorétention, fossé/noue, bande filtrante et toit vert.

A.2 TOLÉRANCE AUX SELS DE DÉGLAÇAGE

Les sites où la tolérance aux sels de déglacage doit être une préoccupation incluent les accotements et fossés le long de routes, les noues et bassins où le ruissellement provenant de neiges usées peut s'infiltrer et les plans d'eau recevant des quantités importantes de ruissellement provenant de la fonte.

Certaines PGO peuvent être plus exposées à des invasions de plantes nuisibles ou envahissantes à cause d'agents stressants comme les sels, les apports en sédiments, la concentration élevée de phosphore ou d'hydrocarbures (MPCA, 2005). Certaines espèces sont connues pour être intolérantes aux sels et leur utilisation devrait être évitée lorsque des sels de déglacage peuvent être anticipés (MPCA, 2005) :

- Cornouiller stolonifère (*Cornus stolonifera*);
- Érable argenté (*Acer saccharinum*);
- Érable à sucre (*Acer saccharum*);
- Tilleul d'Amérique (*Tilia Americana*).

Par ailleurs, le tableau A-1 fournit une liste de plantes, d'arbustes et d'arbres dont la tolérance aux sels est généralement reconnue. Le répertoire des végétaux recommandés pour la végétalisation des bandes riveraines du Québec (FIHOQ, 2008) fournit la tolérance aux sels au niveau du sol des différentes plantes.

A.3 CLASSIFICATION SELON DIFFÉRENTES ZONES

La profondeur d'eau et la fréquence d'inondation, particulièrement pendant la saison de croissance, sont les principaux facteurs contrôlant la survie et la croissance des plantations. La stratégie à suivre pour les plantations devrait donc s'établir en considérant les cinq zones décrites au tableau A-2. Certaines espèces peuvent croiser les dif-

Tableau A-1

Végétaux pour climat froid avec tolérance reconnue aux sels de déglçage (adapté de MPCA, 2005).

| Nom | Humidité du sol | Tolérance aux sels dans le sol | Type de végétaux | Notes pour l'utilisation |
|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Orme américain (<i>Ulmus Americana</i>) | Toujours mouillé/ fréquemment saturé | Moyenne/basse | Arbre | |
| Frêne de Pennsylvanie (<i>Fraxinus pennsylvanica</i>) | Toujours mouillé | Moyenne | Arbre | |
| Elyme du Canada (<i>Elymus canadensis</i>) | Fréquemment saturé | Moyenne | Herbacée | |
| Vulpin des prés (<i>Alopecurus pratensis</i>) | Fréquemment saturé | Basse | Herbacée | |
| Frêne d'Amérique (<i>Fraxinus americana</i>) | Fréquemment saturé / Drainé | Élevée | Arbre | |
| Peuplier (<i>Populus spp.</i>) | Fréquemment saturé / Drainé | Moyenne | Arbre | Inclut peuplier faux-tremble, peuplier deltoïde, peuplier à feuille noire et argentée; croissance rapide; bonne stabilisation des berges; très tolérant à l'épandage de sels ATTENTION : ne pas utiliser le <i>populus alba</i> qui est une espèce envahissante. |
| Micocoulier américain (<i>Celtis occidentalis</i>) | Fréquemment saturé / Drainé | Moyenne | Arbre | |
| Pin gris (<i>Pinus divaricata</i>) | Drainé | Élevée | Arbre | |
| Sumac vinaigrier (<i>Rhus typhina</i>) | Drainé | Élevée | Arbuste | |
| Ivraie vivace (<i>Lolium perenne</i>) | Drainé | Moyenne | Herbacée | Plante naturalisée (Ray-grass anglais) |
| Schizachyrium à balai (<i>Schizachyrium scoparium</i>) | Drainé | Élevée | Herbacée | |
| Puccinelle à fleurs distantes (<i>Puccinella distans</i>) | Drainé | Élevée | Herbacée | Plante naturalisée |

Tableau A-2

Zones hydrologiques pour plantations (adapté de MOE, 2003 et TRCA, 2007).

| Zone | Description | Conditions hydrologiques |
|------|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Eaux profondes | Profondeur d'eau > 0,5 m Plantes aquatiques appropriées pour les plus grandes profondeurs |
| 2 | Eaux peu profondes | Profondeur d'eau de 0,15 à 0,5 m |
| 3 | Zone de rétention | Régulièrement inondée (pratiquement lors de chaque événement pluvieux) Correspond à la zone entre le fond (pour bassin sans retenue permanente) ou le niveau de la retenue permanente et le niveau d'eau atteint lors de l'événement pour le contrôle de la qualité et de l'érosion. |
| 4 | Bande riveraine | Occasionnellement inondée lors d'événement plus rares (entre 1 dans 2 ans et 1 dans 100 ans) Peut inclure, comme alternative à une clôture, des arbustes avec épines pouvant avoir comme fonction de limiter l'accès au plan d'eau. |
| 5 | Bande extérieure | Rarement ou jamais inondée Aires aménagées pour aspects esthétiques et pour contrôler l'accès au plan d'eau. |

férentes catégories et plusieurs peuvent survivre dans les espaces limitrophes des différentes zones.

Différents documents (Claytor et Schueler, 1997; Vermont, 2001; MOE, 2003; TRCA, 2007; Shaw et Schmidt, 2003; MPCA, 2005; Jacobson, 2006; MAPAQ, 2008) fournissent de l'information détaillée quant aux espèces étant les plus appropriées pour les différentes zones.

A.4 PRINCIPES GÉNÉRAUX DE MISE EN ŒUVRE

Certains principes généraux ont avantage à être appliqués lors de la planification et de la conception des ensembles végétaux pour les différentes PGO (MOE, 2003; Vermont, 2002; New Jersey, 2004; MDE, 2000) :

Usage ou fonction

Lors du choix des plantes et arbustes, on doit évidemment tenir compte de la fonction attendue dans l'aménagement. Les plantations sont-elles nécessaires pour une couverture du sol, pour la stabilisation ou pour fournir de l'ombre ? Est-ce que l'environnement immédiat peut être la source de compétitions potentielles, requérant ainsi un écran ou une barrière ? Désire-t-on restreindre l'accès au bassin de rétention (rendant ainsi intéressant l'utilisation d'arbustes spécifiques pour ne pas encourager cet accès).

Caractéristiques générales des espèces

Certaines caractéristiques comme les dimensions et la forme peuvent apparaître évidentes mais elles doivent être considérées non seulement à court terme mais aussi à long terme, alors que des problèmes pourront se développer. D'autres caractéristiques à prendre en compte incluent la couleur, la texture, les aspects saisonniers et les taux de croissance.

Disponibilité et coût

Un aspect qui peut être déterminant lors de la planification est la disponibilité des différentes espèces pour la région où se trouve le site à l'étude. Certaines plantes pourront nécessiter un transport, ce qui aura un impact sur les coûts.

Planifier un système dynamique

Les systèmes avec végétaux sont dynamiques et évoluent dans le temps pour s'adapter à leur environnement. Les espèces mises en place initialement peuvent par exemple, disparaître au profit d'espèces mieux adaptées localement, en particulier autour des bassins de rétention et sur les surfaces qui sont fréquemment inondées. Le choix de plantations doit donc se faire en gardant à l'esprit que la succession naturelle joue un rôle important dans la composition ultime des systèmes végétaux.

Concevoir pour améliorer la fonction écologique

Quoique la création d'habitats terrestres et aquatiques ne soit pas nécessairement un objectif de base pour les ouvrages de gestion des eaux pluviales, plusieurs bénéfices écologiques appréciables peuvent résulter d'une bonne planification des plantations. L'établissement de liens, l'augmentation de la couverture végétale, la création d'abri et la modification du microclimat peuvent être des éléments permettant de rehausser l'intégrité de l'écosystème.

Prise en compte du contexte

Une bonne compréhension des contextes écologique, physique et social d'un site aidera généralement à orienter la sélection des espèces appropriées de plantes ainsi que la configuration des aménagements.

Utilisation d'espèces indigènes

Puisque les PGO sont généralement reliées à un réseau d'habitats qui sont eux aussi liés au cours d'eau en aval des ouvrages, il est important que les plantes soient indigènes pour la région considérée.

Maximiser la diversité

L'utilisation d'une large gamme d'arbres, d'arbustes et de plantes indigènes ne rehaussera pas seulement la biodiversité à l'échelle du bassin versant mais contribuera également à augmenter la résilience du système et sa capacité à se maintenir.

Reconnaître les facteurs humains

La conception des plantations devrait être développée en considérant les besoins des résidents et des usagers du site ainsi que les besoins communautaires comme les aspects récréatifs, la création des sites d'interprétation, l'aspect esthétique ainsi que les préoccupations pour la sécurité.

Par ailleurs, il est souvent nécessaire d'effectuer des tests de sol de façon à déterminer minimalement le pH, les nutriments (azote, phosphore, potassium) et les minéraux. Les zones qui ont été récemment affectées par des activités de construction peuvent devenir compactées de façon à limiter la capacité des racines à pénétrer le sol et on devra donc dans ce cas remanier le sol sur une profondeur minimale de 50 mm ou, idéalement, de 100 mm.

Une couverture de terre végétale doit être épandue sur le site devant accueillir les plantations. Elle doit être

minimalement de 50 mm d'épaisseur et, idéalement, de 100 mm. Cette couche est importante pour fournir aux plantes les matières organiques et les nutriments nécessaires à leur croissance.

Finalement, la liste suivante présente différents éléments généraux à considérer lors de la conception des aménagements (adapté de MDE, 2000; New Jersey, 2004) :

1. Ne pas planter d'arbres ou d'arbustes à moins de 4,5 m du pied d'un barrage;
2. Ne pas planter d'arbres ou d'arbustes connus pour avoir de longues racines près d'une digue ou d'une installation de drainage souterrain;
3. Ne pas planter d'arbres ou d'arbustes à moins de 4,5 m de conduites perforées;
4. Ne pas planter d'arbres ou d'arbustes à moins de 7,5 m d'une structure verticale pour le contrôle des débits de sortie;
5. Laisser 4,5 m libre autour d'un orifice de contrôle;
6. Les plantations herbacées pour les digues devraient être limitées à 250 mm de hauteur, pour permettre à un inspecteur de visualiser les facteurs pouvant compromettre l'intégrité de la digue;
7. Prévoir des méthodes de stabilisation des pentes pour des pentes plus accentuées que 2 : 1. Utiliser des mélanges à croissance rapide dans ces zones en utilisant au besoin des mesures de protection limitant le lessivage;
8. Utiliser des techniques appropriées de contrôle d'érosion pour protéger les canaux;
9. Stabiliser lorsqu'il y a lieu avec des plantations qui peuvent supporter de forts courants d'eau;
10. Effectuer des dérivations des débits au besoin pour favoriser la stabilisation;
11. Vérifier la tolérance à l'eau des plantes existantes avant l'inondation de la zone;
12. Ne pas bloquer ou gêner les accès aux structures pour l'entretien;
13. Pour réduire les impacts thermiques, planifier l'aménagement pour fournir de l'ombre aux canaux d'arrivée et de sortie du bassin;
14. Éviter l'utilisation de plantations qui devront requérir un entretien particulier et soutenu;
15. Effectuer des tests de sol pour vérifier les besoins en apport de nutriments;
16. Choisir des plantations qui pourront bien croître avec un minimum de traitement ou d'apport de nutriments;

17. Éviter l'utilisation de plantes invasives et d'espèces non désirables;
18. Minimiser les zones où de l'engazonnement est utilisé, en favorisant une couverture de sol nécessitant un entretien minimal;
19. Lorsqu'un mélange d'espèces est planifié, planter les mêmes espèces en groupe de 3 à 5 au lieu d'alterner les espèces plante par plante;
20. Utiliser le plus possible des arbres, arbustes et autres plantations appropriées sur les berges des cours d'eau et bassin de façon à stabiliser les berges;
21. Ne pas bloquer la vue aux entrées ou aux sorties. Planifier des écrans pour des les éléments sur lesquels on ne veut pas attirer l'attention;
22. Utiliser des plantations appropriées pour réduire l'accès au bassin ou à des pentes qui sont potentiellement non sécuritaires;
23. Le concepteur doit porter une attention particulière à l'entretien à long terme des aménagements qui sont proposés;
24. Sélectionner lorsqu'il y a lieu (routes et aires de stationnement) des plantations qui ont une tolérance adéquate aux sels de déglçage;
25. Prévoir une signalisation indiquant au public les zones utilisées pour la gestion des eaux pluviales, pour aider à l'éducation du public lorsque possible;
26. Éviter la sur-utilisation d'un type de plantations;
27. Dans la mesure du possible, préserver la végétation naturelle.

A.5 DESCRIPTION PAR TYPES DE PGO

A.5.1 Bassins de rétention et marais

L'aménagement d'un bassin de rétention pourra nécessiter de prendre en compte l'ensemble des 5 différentes zones décrites à la section A.3, qui sont définies en fonction du degré de tolérance des plantes à l'inondation (MOE, 2003). Certaines espèces pourront être utilisées dans plus d'une zone et les limites pour les différentes catégories pourront varier selon les régions.

Eaux profondes (> 0,5 m)

Les espèces aquatiques, incluant celles avec des racines et des feuilles flottantes ou des plantes entièrement flottantes pourront croître dans cette zone. Certaines espèces émergentes pourront tolérer des profondeurs d'eau de plus de 0,5 m et pourront être plantées dans les secteurs les moins profonds.

Eaux peu profondes (< 0,5 m)

Une végétation submergée et émergente peut être mise en place dans cette zone. La plupart des plantes émergentes devraient être installées à des profondeurs inférieures à 0,3 m. Ces plantations stabiliseront le fond et le contour du bassin, absorbant les impacts des vagues et limitant l'érosion lorsque le niveau d'eau fluctue.

Zone de rétention

Cette zone est soumise à de fréquentes variations de niveaux d'eau et sera ainsi exposée à des conditions d'humidité élevée du sol. Elle peut être la zone la plus difficile à aménager puisque les plantes doivent être en mesure de se maintenir malgré l'alternance d'inondations et de périodes sèches qui peuvent être relativement longues. L'utilisation de plantations diverses peut être ici désirable puisque les conditions hydrologiques dans cette zone peuvent être très variables et difficiles à prévoir (Vermont, 2002). Au moins 2 espèces d'arbustes devraient être plantées dans cette zone pour maximiser les chances de succès.

Bande riveraine

La bande riveraine sera occasionnellement inondée lors d'événements plus rares (entre 1 dans 2 ans et 1 dans 100 ans) et l'influence de la variation des conditions d'humidité est donc réduite. Les plantations peuvent inclure une variété de gazon, de plantes, d'arbustes et d'arbres. Les périodes d'ensemencement pour le gazon sont l'automne et au printemps et le type de mélange choisi devrait être approprié pour la stabilisation des talus, avec une croissance rapide et une protection adéquate pour limiter le lessivage. L'utilisation d'au moins 3 espèces d'arbustes et d'arbres est recommandée pour cette zone (MOE, 2003), avec une transition graduelle avec les plantations pour la bande extérieure.

Comme mesure de sécurité et alternative à une clôture, des types de végétation avec épines peuvent être planifiés dans cette zone, de façon à créer une barrière naturelle qui viendra décourager l'accès au bassin.

Bande extérieure

Cette zone, située au-dessus du niveau de conception pour les conditions extrêmes de remplissage (généralement 1 dans 100 ans), représente les aires aménagées essentiellement pour les aspects esthétiques autour du bassin, tout en permettant également de restreindre l'accès

aux pentes plus prononcées ou aux entrées et sorties. On pourra également retrouver dans cette zone des sentiers piétonniers ou une piste cyclable, des murs ou des routes d'accès pour l'entretien. Au moins 5 espèces devraient être utilisées pour prévenir l'établissement de secteurs avec une seule culture (MOE, 2003).

A.5.2 Infiltration et filtre à sable

Certaines restrictions et recommandations s'appliquent à ce type de PGO (Vermont, 2002) :

- Ne pas planter d'arbres à moins de 4,5 m des aires d'infiltration pour minimiser la possibilité que des feuilles colmatent la zone d'infiltration;
- Établir la profondeur de la nappe phréatique pour déterminer les conditions d'eau stagnante et les conditions d'humidité dans le sol;
- Localiser les plantations pour ne pas bloquer l'accès aux ouvrages;
- Protéger efficacement les bandes filtrantes ou les canaux amenant l'eau vers les ouvrages; effectuer au besoin une diversion de l'eau en attendant la stabilisation complète des zones ensemencées.

A.5.3 Biorétention

Dans le cas des PGO avec biorétention, les caractéristiques du sol sont peut-être aussi importantes que la localisation et le dimensionnement de l'ouvrage. Le sol devrait être assez perméable pour permettre à l'eau de filtrer à travers le substrat, tout en ayant des caractéristiques pour promouvoir et maintenir une végétation robuste à la surface. De plus, l'enlèvement des nutriments (azote et phosphore) s'effectue par adsorption et par l'activité microbienne à travers le sol. Par conséquent, les sols doivent avoir des propriétés chimiques et physiques permettant de supporter des communautés biotiques au-dessus et au-dessous du sol (Vermont, 2002). Le sol pour les plantations doit rencontrer les spécifications suivantes (Philadelphie, 2006):

- Argile – moins que 5 %;
- Sable – 50-60 %;
- Compost de feuilles ou paillis de feuilles mûri – 20 -30 %;
- Terre végétale de haute qualité – 20 -30 %;
- Le sol pour la biorétention peut être créé en modifiant le sol existant. Dépendamment de la qualité du sol en place, on peut combiner 20-30 % du sol en place avec 20-30 % de compost et 50 % de sable;

- Le sol doit avoir une perméabilité d'au moins 300 mm/jour (12,5 mm/h);
- Le sol doit être exempt de roches, racines, herbes et autres matériaux. La mise en place doit se faire par couche de 300-450 mm, compactée faiblement.

Il faut toutefois souligner que la composition du sol idéal fait encore l'objet d'analyses et d'essais. Le guide du Minnesota (MCPA, 2005), après une analyse relativement exhaustive des différents paramètres, en est venu à recommander le mélange suivant :

Mix B pour filtration améliorée: mélange homogène composé de 20-70 % de sable de construction, avec 30-50 % de compost organique de feuilles pour fournir un substrat avec un haut taux d'infiltration/filtration. Le sable doit être propre et exempt de matériaux non désirables (*AASHTO M-6 ou ASTM C-33 avec des dimensions des grains de 0.02" - 0.04"*).

Davidson *et al.* (2008), dans leurs analyses du comportement de systèmes de biorétention en climat froid, ont constaté que le mélange proposé par MPCA (2005) permettait d'obtenir de bons résultats.

Différents documents fournissent une discussion approfondie des éléments à considérer pour les PGO avec biorétention (MOE, 2003; Clar *et al.*, 2004; MDE, 2000; MPCA, 2005; Davidson *et al.*, 2008; Portland, 2004; Claytor et Schueler, 1996; Prince Georges County, 1993; Vermont, 2002; Lanarc Consultants (2005)). Pour les plantations, leur sélection devrait être faite avec comme objectif de simuler un écosystème avec un couvert dense et varié pour traiter le ruissellement, tout en étant suffisamment robuste pour soutenir des infestations d'insectes, les sécheresses et les autres facteurs de stress comme la température et les vents. Il y a essentiellement 3 zones dans une PGO avec biorétention :

- Zone la plus basse, où la végétation doit supporter des inondations et la présence prolongée d'eau;
- Zone médiane, où les plantes doivent être résistantes à des inondations ponctuelles;
- Zone la plus haute, en périphérie, où on retrouve les espèces mieux adaptées à des conditions plus sèches.

A.5.4 Fossé / Noue / Bande filtrante

Dépendant du type de fossé ou de noue considéré (sec ou avec retenue permanente, avec ou sans digue favorisant l'infiltration), on devra choisir un engazonnement ou des plantations qui pourront bien se maintenir dans un environnement relativement rude, surtout à cause des vitesses d'écoulement qui sont prévues et des polluants qui devront souvent être transportés (sable, sels de déglacage).

RÉFÉRENCES

- Center for Watershed Protection (2003). *New York State Stormwater management design manual*, Elliot City, MD.
- Clar, M. L., Barfield, B.J. and O'Connor, T. P. (2004). *Stormwater Best Management Practice – Design Guide Volume 2 – Vegetative Biofilters*. Rapport EPA/600/R-04/121A, Environmental Protection Agency (EPA), Edison, NJ.
- Claytor, R. et Schueler, T. (1996). *Design of stormwater filtering systems*. Center for Watershed Protection. Elliot City, MD.
- Davidson, J. D., Lefevre, N.-J. et Oberts, G. (2008). *Hydrologic Bio-retention Performance and Design Criteria for Cold Climates*. Projet WERF 04-DEC-13SG, Water Environment Research Foundation.
- Lanarc Consultants (2005). *Stormwater Source Control Design Guidelines*. Rapport prepare pour la Greater Vancouver Regional District (GVRD), Vancouver.
- Jacobson, R. (2006). *Restoring and Managing Native Wetland and Upland Vegetation*. Minnesota Board of Soil and Water Resources et Minnesota Department of Transportation, Minnesota.
- Prince Georges County (1993). *Design Manual for use of bioretention in stormwater management*. Prince Georges County Dept. of Environmental Resources, Upper Malboro, MD.
- FIHOQ (2008). *Répertoire des végétaux recommandés pour la végétalisation des bandes riveraines du Québec*, Fédération interdisciplinaire de l'horticulture ornementale du Québec .
- Maryland Department of Environment (MDE) (2000). *Stormwater design manual*. Elliot City, MD.
- MOE (2003). *Stormwater Management Planning and Design Manual*. Ministère de l'environnement de l'Ontario, Toronto, On.
- MPCA (Minnesota Pollution Control Agency) (2005). *Minnesota Stormwater Manual*. Minnesota Stormwater Steering Committee, Minnesota.
- New Jersey (2004). *New Jersey Stormwater Best Management Practices Manual*, New Jersey.
- Pennsylvania Department of Environmental Protection (DEP) (2006). *Stormwater Best Management Practices Manual*, Philadelphie.
- Philadelphie (2006). *Philadelphia Stormwater Manual*. Ville de Philadelphie, PA.
- Portland, Bureau of Environmental Services. (Portland BES). 2004. *Portland Stormwater Management Manual*. Portland, OR.
- Shaw, D. et Schmidt, R. (2003). *Plants for stormwater design – Species selection for the Upper Midwest*. Minnesota Pollution Control Agency, Saint Paul, Minnesota.
- TRCA (Toronto Region Conservation Authority) (2007). *Stormwater Management Pond Planting Guidelines*. Toronto Region Conservation Authority, Toronto, On.
- Vermont (2002). *The Vermont Stormwater Management Manual*. État du Vermont.

CARACTÉRISATION DES SITES POUR INFILTRATION

ANNEXE B

Un des aspects les plus importants à considérer pour le dimensionnement d'un ouvrage fonctionnant par infiltration est de bien caractériser le site où on prévoit le mettre en place. Bien qu'on puisse évaluer les taux d'infiltration des sols en place à partir de valeurs présentées dans la littérature, il est toujours recommandé d'établir, par des tests *in situ*, le taux auquel l'eau pourra s'infiltrer dans le sol. Ce type de test, combiné à une caractérisation des propriétés physiques du sol (texture, granulométrie, structure, densité relative, etc.), permettra de fournir des informations de base pour compléter le design hydraulique des ouvrages.

Plusieurs références fournissent une description détaillée de ce type de tests (FHWA, 1980; EAT Environnement, 1991; MDDEP, 2009; CIRIA, 1996; MDE, 2000; Washington, 2005; Argue, 2004; Pennsylvania, 2006; Gulliver et Anderson, 2008). Après une discussion générale permettant d'encadrer cette caractérisation, on donnera ci-après les procédures recommandées par le CIRIA en Grande-Bretagne (1996) et par l'état du Maryland aux États-Unis (*Center for Watershed Protection*, 2000). Ces deux organismes ont développé ces procédures spécifiquement pour la conception des ouvrages de drainage fonctionnant par infiltration. Le type d'essai et la caractérisation des sols qui doivent être faits sont toutefois similaires à ceux qui sont recommandés pour la conception des champs d'épuration pour l'assainissement autonome. On pourra donc également se référer aux références qui sont spécifiquement québécoises (EAT Environnement, 1991; MDDEP, 2001). On retrouvera toutefois aux documents précédemment cités des discussions spécifiques pour

les ouvrages de drainage fonctionnant par infiltration.

Les facteurs les plus importants qui pourront avoir une influence sur la capacité d'infiltration d'un sol sont la pente naturelle du sol, le type et les propriétés des sols en surface et sous la surface, les conditions géologiques ainsi que les conditions hydro-géologiques. Les analyses devraient être axées sur les aspects suivants (FHWA, 1980) : (1) les capacités d'infiltration des sols en surface si l'eau entre par la surface, (2) les capacités de la sous-couche de sols qui peut permettre à l'eau infiltrée d'atteindre la nappe phréatique, (3) les capacités des sols souterrains pour l'évacuation des eaux infiltrées et (4) le débit de sortie du système avec des conditions de remontée de nappe au taux maximum d'infiltration.

Le taux d'infiltration est évidemment grandement affecté par la perméabilité des sols en place. Le taux d'infiltration pour la première application d'eau lors d'un test est généralement plus grand qu'après une longue saturation. Au fur et à mesure que le mouillage continue et que la partie supérieure des sédiments devient saturée, le taux d'infiltration diminuera graduellement et atteindra un taux plus ou moins constant, généralement après quelques heures (FHWA, 1980). Plusieurs études ont été complétées sur l'établissement des taux d'infiltration et sur l'importance des différents paramètres; on pourra consulter à cet effet FHWA (1980), Washington (2005), Gulliver et Anderson (2008) et EAT Environnement, (1991) pour une discussion plus approfondie.

Les tests doivent permettre de simuler les conditions qui se développeront dans le système (tant en étendue qu'au niveau de la profondeur). Le nombre de sites pour les tests est dépendant des conditions de sol existantes,

des dimensions et du type de système qui est envisagé. À titre d'exemple (FHWA, 1980), pour un bassin ou un système souterrain pour un stationnement de 92 m x 92 m, 2 ou 3 tests devraient être suffisants. Pour une tranchée linéaire, des tests à tous les 150 m peuvent être suffisants si la composition des sols est relativement uniforme. Le CIRIA (1996) recommande par ailleurs de faire un test si une des dimensions du système est moins de 25 m et 1 test additionnel pour chaque 25 m qui s'ajoute. Lorsque plus d'un test est réalisé, on pourra prendre pour rester conservateur la plus faible valeur obtenue. La profondeur des tests doit au moins atteindre le niveau du dessous envisagé des systèmes à concevoir (et idéalement plus bas). Les dimensions du trou pour le test doivent être de fa-

çon générale reliées aux dimensions de la surface tributaire (CIRIA, 1996). Si la surface tributaire est inférieure à 100 m², le volume d'eau utilisé dans le test devrait être au moins de 0.5 m³; si la surface est plus grande que 100 m², le volume devrait être au moins de 1 m³.

À titre indicatif, les tableaux B.1 et B.2 fournissent des ordres de grandeur pour la conductivité hydraulique dans différents sols.

Comme on peut le constater au tableau B.2, un **facteur de sécurité** devrait par ailleurs être appliqué aux valeurs de conductivité hydraulique obtenues avec les tests in situ (Washington, 2005; Barraud *et al.*, 2006). Puisque la valeur utilisée dans la conception doit refléter les conditions à long terme, tenant compte d'un possible colmatage

Tableau B.1

Ordres de grandeur de la conductivité hydraulique dans différents sols (d'après Musy et Soutter (1991), cité dans Barraud (2006)).

| K (m/s) | 10 ⁻¹ | 10 ⁻² | 10 ⁻³ | 10 ⁻⁴ | 10 ⁻⁵ | 10 ⁻⁶ | 10 ⁻⁷ | 10 ⁻⁸ | 10 ⁻⁹ | 10 ⁻¹⁰ | 10 ⁻¹¹ |
|-----------------------------|-------------------------------------|------------------|------------------------------------------------|------------------|---------------------------------------------------|------------------|------------------|------------------------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| Types de sols | Gravier sans sable ni éléments fins | | Sable avec gravier, Sable grossier à sable fin | | Sable très fin Limon grossier à limon argileux | | | Argile limoneuse à argile homogène | | | |
| Possibilités d'infiltration | Excellentes | | Bonnes | | Moyennes à faibles | | | Faibles à nulles | | | |

Tableau B.2

Taux d'infiltration typiques (adapté de Ferguson, 1994).

| Type de sol | Conductivité hydraulique saturée | | Taux d'infiltration pour conception (facteur de sécurité de 0,5) | |
|-------------------------|----------------------------------|-------------------------|------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| | (mm/h) | (m/s) | (mm/h) | (m/s) |
| Sable | 210 | 5,83 x 10 ⁻⁵ | 105 | 2,92 x 10 ⁻⁵ |
| Sable limoneux | 61 | 1,69 x 10 ⁻⁵ | 30,5 | 8,45 x 10 ⁻⁶ |
| Limon sablonneux | 26 | 7,22 x 10 ⁻⁶ | 13 | 3,61 x 10 ⁻⁶ |
| Limon | 13 | 3,61 x 10 ⁻⁶ | 6,5 | 1,81 x 10 ⁻⁶ |
| Limon silteux | 6,8 | 1,89 x 10 ⁻⁶ | 3,4 | 9,45 x 10 ⁻⁷ |
| Limon argilo-sablonneux | 4,3 | 1,19 x 10 ⁻⁶ | 2,2 | 5,95 x 10 ⁻⁷ |
| Limon argileux | 2,3 | 6,39 x 10 ⁻⁷ | 1,2 | 3,20 x 10 ⁻⁷ |
| Limon argilo-silteux | 1,5 | 4,17 x 10 ⁻⁷ | 0,75 | 2,09 x 10 ⁻⁷ |
| Argile sablonneuse | 1,2 | 3,33 x 10 ⁻⁷ | 0,6 | 1,67 x 10 ⁻⁷ |
| Argile silteuse | 0,9 | 2,50 x 10 ⁻⁷ | 0,45 | 1,25 x 10 ⁻⁷ |
| Argile | 0,6 | 1,67 x 10 ⁻⁷ | 0,3 | 8,35 x 10 ⁻⁸ |

qui pourra se développer durant la vie utile de l'ouvrage, **il est recommandé de multiplier minimalement la valeur obtenue par les tests par 0,5 pour obtenir une valeur de conception pour la conductivité hydraulique.** Pour des ouvrages de plus grande ampleur ou si un mauvais fonctionnement éventuel pouvait avoir des conséquences plus importantes, **il est recommandé de multiplier la valeur de conductivité hydraulique par 0,3.**

Différentes méthodes peuvent par ailleurs être utilisées pour mesurer la perméabilité d'un sol en place (EAT Environnement, 1991; MDDEP, 2009; Washington, 2005; Gulliver et Anderson, 2008). Un essai de conductivité hydraulique (ou perméabilité) réalisé in situ avec des équipements et la méthodologie appropriée est généralement l'approche la plus fiable pour établir la capacité d'un sol à infiltrer les eaux. L'essai de percolation, qui consiste à mesurer la vitesse de la baisse du niveau de l'eau dans un trou d'essai, est relativement simple et requiert peu d'appareils.

Trois différentes procédures pour réaliser des essais de percolation sont ici décrites : celle du MDDEP (2009), dans le Guide technique sur le traitement des eaux usées des résidences isolées, ainsi que celles du CIRIA (1996) et du Maryland (MDE, 2000) dans des guides techniques destinés spécifiquement à la gestion des eaux pluviales.

Procédure du MDDEP (2009)

Le tableau B.3 donne la procédure recommandée par le MDDEP (2009).

La vitesse de percolation obtenue, exprimée en minutes/centimètre, détermine le temps moyen en minutes requis pour que l'eau s'abaisse d'un centimètre.

Au moins deux essais de percolation devraient être réalisés sur un site destiné au traitement des eaux usées. Les essais devraient être répartis sur le site et leur profondeur devrait correspondre à celle de la surface d'absorption des eaux.

Les spécialistes qui ont effectué des études sur la validité de l'essai de percolation recommandent d'utiliser les résultats de l'essai de percolation en les validant avec d'autres propriétés physiques du sol (texture, granulométrie, structure, densité relative).

Afin d'obtenir des résultats qui soient représentatifs en vue d'établir le niveau de perméabilité, certaines précautions doivent être prises pour éliminer ou atténuer les causes d'erreurs les plus fréquentes liées à la méthode :

■ **trou d'essai :**

Tableau B.3
Procédure du MDDEP (2009).

| Protocole de l'essai de percolation | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Déterminer la profondeur de la nappe phréatique, si elle est à moins de 1,8 m sous la surface du sol. Creuser les trous d'essai (diamètre entre 15 et 25 cm) à la profondeur requise par le positionnement de la nappe phréatique et en fonction des niveaux d'absorption projetés. Entailler le fond du trou et les parois et extraire la terre ainsi détachée. Ajouter 5 cm de sable grossier ou de gravier fin au fond du trou.</p> | |
| ↓ | |
| <p>Saturer le sol. Remplir d'eau claire. Maintenir le niveau pendant au moins 4 heures pour un sol à texture sablonneuse, 6 heures pour un sol à texture limoneuse, 10 heures pour un sol à texture silteuse et 20 heures pour un sol à texture argileuse. Laisser imbibé pendant au moins 12 heures, mais pas plus de 18 heures.</p> | |
| ↓ | ↓ |
| Le trou est à sec. | Il y a encore de l'eau. |
| ↓ | |
| <p>Ramener la hauteur à 15 cm au-dessus du gravier. Attendre 30 minutes.</p> | |
| ↓ | ↓ |
| <p>Remplir d'eau claire jusqu'à 15 cm au-dessus du gravier. Mesurer les baisses de niveau à des intervalles de 10 minutes pendant 1 heure (6 lectures). Ramener le niveau d'eau à 15 cm après chaque lecture. La baisse observée au cours des 10 dernières minutes sert à calculer la vitesse de percolation.</p> | <p>Ramener le niveau d'eau à 15 cm au-dessus du gravier. Mesurer la baisse de niveau toutes les 30 minutes pendant 4 heures (8 lectures). Ramener le niveau d'eau à 15 cm du gravier après chaque lecture. La dernière baisse sert à calculer la vitesse de percolation.</p> |

- creuser les trous d'un diamètre uniforme;
- éviter de compacter le sol des parois avec les outils de forage;
- prévenir l'affaissement des parois.

■ **protocole :**

- saturer le sol pour éviter la variation de lectures de baisse du niveau d'eau;
- relever les lectures de baisse avec précision;
- éviter de varier de façon significative le niveau d'eau de départ pour des lectures successives; utiliser des appareils permettant d'effectuer des mesures précises.

Procédure du CIRIA (1996)

1. Excaver un puits de dimensions appropriées.
2. Mesurer la surface mouillée de la surface intérieure du puits, incluant les côtés et le fond lorsque le puits sera à moitié rempli d'eau.
3. Remplir le puits avec de l'eau .
4. Mesurer le niveau d'eau et le temps au fur et à mesure que le puits se vide. Le temps pris pour que le puits se vide de 75 % à 25 % de la profondeur doit être établi (t_{p75-25}), auquel on associera un volume (V_{p75-25}).
5. Répéter le test au moins deux fois en succession, préférentiellement le même jour.

Il est recommandé que la profondeur d'eau dans le puits au début du test soit comparable à celle qui se produira lorsque le système sera en place. Après avoir évalué la surface des côtés et de la base lorsque le puits est rempli à 50 % (a_{p50}), on pourra évaluer le coefficient d'infiltration à l'aide de l'équation suivante :

$$k = \frac{V_{p75-25}}{a_{p50} \times t_{p75-25}} \quad (4-1)$$

où t_{p75-25} est le temps pris pour vider de 75 % à 25 % la profondeur du puits d'essai, V_{p75-25} est le volume du puits entre les niveaux correspondant à 75 % à 25 % la profondeur du puits et a_{p50} est la surface de la base et des cotés du puits à 50 % de la profondeur. La plus petite valeur obtenue avec plusieurs tests devrait être choisie.

Procédure du Maryland (2000)

Pour tous les systèmes, on recommande de ne pas utiliser les techniques par infiltration lorsque le taux d'infiltration des sols en place est inférieur à 13 mm/h. Par conséquent, l'approche pour les tests est divisée en deux étapes : faisabilité initiale et conception proprement dite. Les tests de faisabilité sont complétés pour déterminer si les tests à plus grande échelle sont nécessaires, en gardant à l'esprit la limite de 13 mm/h. Le tableau B.4 donne les recommandations pour les différents tests.

Puits d'exploration / forage

1. Excaver un puits d'exploration ou un forage à une profondeur de 1,2 m sous le dessous du système qui est envisagé.
2. Déterminer la profondeur de la nappe lors du sondage et 24 h après.
3. Compléter un essai de pénétration standard à chaque 0,6 m jusqu'à une profondeur de 1,2 m sous le dessous du système qui est envisagé.
4. Déterminer le type de sol à l'aide de la classification unifiée du département de l'Agriculture américain au fond du système et 1,2 m sous le dessous du système qui est envisagé.
5. Déterminer la profondeur du roc (si inférieure à 1,2 m sous le dessous du système qui est envisagé).
6. La description des sols doit inclure tous les horizons rencontrés.

Tableau B.4

Résumé pour les tests afin d'établir les taux d'infiltration (MDE, 2000).

| Type de système | Test de faisabilité | Tests pour conception (si test de faisabilité donne un taux > 13 mm/h) | Tests pour conception (si test de faisabilité donne un taux < 13 mm/h) |
|---------------------------|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| Tranchée | 1 test de percolation, puits d'exploration non requis | 1 test d'infiltration et 1 puits d'exploration par 15 m de tranchée | Système non recommandé |
| Bassin | 1 test de percolation, puits d'exploration non requis | 1 test d'infiltration et 1 puits d'exploration par 18 m ² de surface | Système non recommandé |
| Filtre à sable de surface | 1 test de percolation, puits d'exploration non requis | 1 test d'infiltration et 1 puits d'exploration par 18 m ² de surface | Drainage souterrain requis |
| Biorétention | 1 test de percolation, puits d'exploration non requis | 1 test d'infiltration et 1 puits d'exploration par 18 m ² de surface | Drainage souterrain requis |

7. La localisation du puits ou du forage doit correspondre à la localisation envisagée pour l'ouvrage et doit être clairement identifiée.
3. 24 heures plus tard, remplir de nouveau jusqu'à 600 mm et suivre l'évolution du niveau d'eau pendant 1 h. Répéter cette procédure au moins 3 fois, pour un total de 4 observations. On pourra prendre comme valeur de taux (en mm/h) les résultats de la dernière observation.

Test pour infiltration

1. Après avoir excavé ou fait un forage jusqu'au niveau correspondant au dessous du système, creuser dans le fond un forage (125 mm de diamètre, longueur de 750 mm) sous le niveau inférieur du système qui est envisagé.
2. Enlever les dépôts et nettoyer les surfaces internes de façon à fournir une paroi naturelle de sol à travers laquelle l'eau pourra s'infiltrer. On pourra ajouter 50 mm de sable grossier ou de gravier pour protéger le fond contre l'érosion. Remplir le trou avec de l'eau propre sur 600 mm et laisser pendant 24 h.

On pourra également référer au manuel produit par EAT Environnement (1991) et à Gulliver et Anderson (2008), qui contiennent des discussions approfondies sur les critères et limitation de ces types d'essais. Gulliver et Anderson (2008), décrivent également les différents types d'équipements qui peuvent être utilisés in situ pour établir les capacités d'infiltration des sols en place. Comme on l'a déjà souligné, **les résultats des essais devront toujours être interprétés en combinaison avec une caractérisation des sols qui se fera par d'autres tests in situ et en laboratoire.**

RÉFÉRENCES

- Argue, J. R. (2004). *Basic Procedures for Source Control of Stormwater – A Handbook for Australian Practice*. Urban Water Resources Centre, en collaboration avec Stormwater Industry Association et Australian Water Association, University of South Australia.
- Barraud, S. et al. (2006). *Guide technique : Recommandations pour la faisabilité, la conception et la gestion des ouvrages d'infiltration des eaux pluviales en milieu urbain*. Programme MGD infiltration du RCGU, Lyon, France.
- EAT Environnement (1991). *Guide technique sur la conception des installations septiques communautaires (petites agglomérations)*. Préparé pour la Société québécoise d'assainissement des eaux, Québec.
- Ferguson, B. (1994). *Stormwater infiltration*. Lewis Publishers, CRC Press, Boca Raton.
- FHWA (Federal Highway Administration) (1980). *Underground Disposal of Stormwater Runoff*. Rapport FHWA-TS-80-218.
- CIRIA (Construction Industry Research and Information Association) (1996). *Infiltration Drainage – Manual of good practice*. Rapport 156, Londres.
- Gulliver, J. S. et Anderson, J. L. (2008). *Assessment of Stormwater Best Management Practices. Stormwater Management Practice Assessment Project*, Université du Minnesota, Minnesota Pollution Control Agency, Projet 347-6053, MN.
- Maryland Department of Environment (MDE) (2000). *Stormwater design manual*. Elliot City, MD.
- Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) (2009). *Guide technique sur le traitement des eaux usées des résidences isolées (Q-2, R.8)*. Direction des politiques du secteur municipal, Service de l'expertise technique en eau, Québec.
- Musy A., Soutter M. (1991). *Physique du sol*. Lausanne : Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 335 p.
- Pennsylvania Department of Environmental Protection (DEP) (2006). *Stormwater Best Management Practices Manual*, Philadelphie.
- Washington State Department of Ecology (2005). *Stormwater Management in Western Washington – Volume III, Hydrologic Analysis and Flow Control Design/BMPs*. Publication 05-10-31, Water quality program, Washington State Department of Ecology, Washington.

EXEMPLES D'APPLICATIONS

ANNEXE C

Des exemples de calculs simples sont fournis ici à titre indicatif, afin de démontrer l'application de certaines méthodes qui sont actuellement d'usage moins courant. Les exemples ont été regroupés selon le concept de filière de traitement qui est décrit au Guide:

- C.1- Contrôle à la source (tranchée d'infiltration; biorétention)
- C.2- Contrôle en réseau (noue avec infiltration)
- C.3- Bassins de rétention (sans retenue permanente et avec retenue)

Les différents exemples ont été élaborés pour être représentatifs de cas typiques mais on devra considérer, qu'en pratique, plusieurs mécanismes de contrôle pourront être applicables en combinaison ou en série, de façon à atteindre les objectifs visés. Par ailleurs, une des particularités des plus récents critères de contrôle concernant la qualité des eaux pluviales rejetées est que les objectifs peuvent être définis en fonction d'un **volume** à gérer, par opposition à un **débit maximal de rejet** qui, historiquement, a été le critère retenu pour une gestion purement quantitative des eaux pluviales. Ceci peut dans certains cas être une source de confusion.

Pour les cas concrets d'application, on devra veiller à ce que les ouvrages destinés au contrôle qualitatif (qui seront généralement de moindre envergure que les ouvrages pour les contrôles quantitatifs et ne pourront dans la plupart des cas contrôler les événements plus rares) s'intègrent de façon cohérente dans le système global de drainage.

C.1 CONTRÔLE À LA SOURCE

Plusieurs des mécanismes de contrôle à la source font intervenir des processus d'infiltration, ce qui implique le recours à la loi de Darcy :

$$q = k i \quad (C-1)$$

Où q = taux d'infiltration par unité de surface
($m^3/s/m^2 = m/s$)

k = conductivité hydraulique (m/s)

i = gradient hydraulique ($\Delta h / \Delta L$) (m/m)

On assume généralement que le gradient hydraulique est de 1 (il peut toutefois être inférieur pour l'infiltration dans les talus d'un fossé ou dans d'autres situations spécifiques – voir une excellente discussion de cet aspect dans Washington, 2005). Le débit d'infiltration peut donc être exprimé par l'équation suivante :

$$Q = \alpha S q = \alpha S k \quad (C-2)$$

Où Q = débit d'infiltration (m^3/s)

α = coefficient de réduction

S = surface disponible pour l'infiltration (m^2)

Le chapitre 6 et l'annexe B fournissent des valeurs typiques pour la conductivité hydraulique. En pratique ce paramètre doit impérativement être évalué à l'aide de tests in situ et on doit diminuer la valeur utilisée lors de la conception par un facteur de sécurité pour tenir compte de la possibilité de colmatage à long terme et des conséquences potentielles d'un mauvais fonctionnement.

Tranchée d'infiltration

Une tranchée d'infiltration est considérée pour réduire les volumes de ruissellement pour un secteur avec des habitations de type multi-résidentiel. Les gouttières de 4 blocs de logements (superficie tributaire totale de 600 m²) se rejettent vers des tranchées d'infiltration, qui seront situées à au moins 4 m des habitations. L'apport des eaux se fera de façon souterraine, avec un prétraitement adéquat, dans un volume de pierre nette (porosité de 35 %) entouré d'une membrane géotextile. Les tests de perméabilité ont permis d'établir une conductivité hydraulique saturée de 50 mm/h (donc, une valeur de conception de 50 x 0,5 = 25 mm/h). Il s'agit de déterminer les dimensions de la tranchée drainante pour le contrôle de la qualité.

La profondeur maximale de la tranchée drainante s'établit avec l'équation donnée au chapitre 11 :

$$d = P * T / 1000 \quad (C-3)$$

où d est la profondeur maximale de stockage dans la tranchée (m), P est le taux d'infiltration (mm/h) et T est le temps de vidange (idéalement de 24 h). Avec un taux de percolation de 25 mm/h et un temps de vidange de 24 heures, on obtient une valeur d de 0,6 m comme profondeur maximale.

Le volume de ruissellement pour une quantité de pluie de 25 mm tombant sur les toits (600 m²) et en assumant un coefficient de ruissellement de 0,95 est de 14,3 m³. Avec une hauteur de 0,6 m, une largeur de 1,5 m et une porosité de 35 %, la longueur de tranchée drainante remplie de pierre nette qui est requise pour contenir ce volume est de 45,4 m.

On peut maintenant évaluer le comportement de la tranchée et du volume disponible pour différents apports. Le débit pouvant être évacué par les sols autour de la tranchée dépend essentiellement de la conductivité hydraulique et peut être calculé à l'aide de l'équation C-1 donnée plus haut. On peut tout d'abord assumer que l'infiltration ne peut se faire par le fond de la tranchée (qui pourra se colmater à long terme). Par ailleurs, puisque la hauteur d'eau dans la tranchée variera dans le temps durant le remplissage et la vidange, on peut approximer un taux de relâche moyen en assumant que la percolation ne se fait que sur la demi-hauteur de la tranchée (ce qui représente ici 0,30 m). Soulignons que cette hypothèse (que l'infiltration se produira de façon prédominante par les côtés de la tranchée) implique que **les tranchées les plus efficaces seront longues et étroites.**

Le volume pouvant être évacué s'établit donc avec l'équation suivante (D étant la durée considérée, en minutes) :

$$\begin{aligned} V_{\text{évacué}} &= \alpha S k D \\ &= 0,5 * ((2*45,4+(1,5*2)) * 0,30) * \\ &\quad (50/1000) * (D/60) \\ &= 0,0117 D \end{aligned}$$

Les volumes d'apport peuvent par ailleurs s'établir à l'aide de la méthode rationnelle :

$$V_{\text{entrée}} = (CIA/360) (D*60)$$

Le volume de stockage peut s'évaluer par la méthode décrite au chapitre 6 (section 6.1.5.4) : les volumes d'entrée et de sortie sont évalués pour chaque durée (normalement des multiples de 5 minutes) et le volume à stocker est la plus grande différence calculée entre ces deux paramètres.

Si on considère les dimensions de tranchée établies pour le contrôle de la qualité (25 mm), on constatera évidemment que des volumes plus importants seront nécessaires pour des périodes de retour plus rares. Le concepteur aura alors le choix soit d'augmenter les dimensions de la tranchée pour stocker les eaux de ruissellement associées à un événement plus rare (par exemple jusqu'à 2 ans) ou encore de prévoir contrôler ailleurs l'excédent (avec un mécanisme de trop-plein permettant d'acheminer l'eau excédentaire par exemple vers les stationnements ou des conduites surdimensionnées pour effectuer une rétention complémentaire).

Biorétention

Comme pour une tranchée d'infiltration, la fonction primaire d'une zone de biorétention est de fournir le stockage nécessaire pour la gestion de la qualité et non pas pour le contrôle de débits de ruissellement de récurrence plus rare. On devra donc encore là prévoir, pour des cas pratiques, que l'excédent d'eau que l'unité de biorétention ne pourra contenir ou traiter pourra être redirigé vers des bassins de rétention conventionnels ou une unité de stockage souterrain.

Considérons la conception d'une aire de biorétention pour le contrôle qualitatif des eaux de ruissellement provenant d'une aire de stationnement de 0,5 ha (C = 0,95).

Le volume à prévoir pour une précipitation de 25 mm (en prenant en compte des pertes initiales de 1,5 mm) est donc :

$$V = ((25 - 1,5)/1000) * 0,95 * 5\,000 = 112 \text{ m}^3$$

Sans drain perforé, la surface nécessaire pour la zone de biorétention s'établit à l'aide de l'équation suivante donnée au chapitre 11:

$$A_{\text{inf}} = (V_Q \times d_f) / ((i \times (h_f + d_f)) \times t_f) \quad (\text{C-4})$$

Où A = surface du lit de biorétention (m²)

V_Q = volume pour le contrôle de la qualité (m³)

d_f = profondeur du lit filtrant (m)

i = taux d'infiltration pour le sol (mm/h)

h_f = hauteur d'eau moyenne au-dessus du lit pour les conditions de design (m). (Typiquement 0,5 h_{max}, h_{max} étant la hauteur d'eau maximale agissant sur le media)

t_f = temps de vidange maximal (48 h)

Avec un volume de 112 m³, une profondeur du lit filtrant de 1,0 m, un taux d'infiltration de 7,5 mm/h (sol de type B, selon le tableau fourni au chapitre 11), une hauteur maximale d'eau de 300 mm au-dessus du lit (donc h_f = 0,5 * 0,3 = 0,15 m) et un temps de vidange de 24 h, on obtient une surface nécessaire de

$$A_{\text{inf}} = (112 * 1) / ((7,5/1000) * (0,15 + 1) * 24) = 541 \text{ m}^2$$

Avec un drain perforé, la surface nécessaire pour la zone de biorétention s'établit à l'aide de la même équation mais en utilisant le taux d'infiltration du media filtrant (150 mm/jour (6,25 mm/h pour tenir compte du colmatage éventuel (Claytor et Schueler, 1996). On obtient ainsi :

$$A_{\text{inf}} = (112 * 1) / ((6,25/1000) * (0,15 + 1) * 24) = 649 \text{ m}^2$$

Une fois les caractéristiques de l'unité de biorétention établies pour le contrôle de la qualité, on devra évaluer son comportement avec l'apport généré par des pluies plus rares et prévoir des mécanismes d'évacuation appropriés (avec des exutoires aménagés au besoin avec une protection adéquate pour l'érosion) de façon à effectuer une gestion complémentaire des volumes.

Il est par ailleurs recommandé de compléter une analyse de remontée de la nappe sous l'unité de biorétention, pour s'assurer qu'il y ait toujours un minimum de 1,2 m de distance entre le niveau maximal de la nappe phréatique et le dessous de l'unité. Une des méthodes d'analyse les plus reconnues pour ce faire est celle de Hantush (1967).

C.2 CONTRÔLE EN RÉSEAU

Noue avec infiltration

Les paramètres de conception pour une noue avec infiltration sont la capacité de rétention en surface (qui dépend de la pente longitudinale et de la configuration de la noue) ainsi que l'espacement et la hauteur des petites surélévations ou barrages servant à maximiser le stockage et l'infiltration. Une variante de ce type de noue peut également inclure, en fin de parcours avant le rejet au milieu récepteur, une unité de biorétention.

La conception devrait normalement se faire en établissant tout d'abord les dimensions de la noue pour rencontrer les objectifs de contrôle pour la qualité. La deuxième étape consiste ensuite à vérifier la profondeur et les vitesses d'écoulement pour l'événement de conception et aussi l'événement 100 ans si il est jugé nécessaire.

Les paramètres de base pour la conception (qui se fait pour un ouvrage dans la région de Québec) sont les suivants :

Surface tributaire = 0,6 ha

Longueur de la noue utilisable = 200 m

Pente longitudinale = 0,5 %

Pentes latérales de la noue = 3H :1V

Pourcentage imperméable = 75 %

Pertes initiales = 1,5 mm

Profondeur du media filtrant = 0,45 m

Profondeur maximale d'eau (qualité) = 0,2 m

Temps d'évacuation maximal = 12 h

Conductivité hydraulique du media filtrant = 15 mm/h

En assumant que les barrages de contrôle auront une hauteur de 0,2 m, leur espacement sera donc 0,2/0,005 = 40 m. Considérant la longueur de 200 m, on aura donc 4 petits barrages de contrôle et 5 réservoirs de stockage.

Données pluviométriques (Station aéroport de Québec)

Contrôle de la qualité 25 mm

$$1 \text{ dans } 2 \text{ ans} \quad i = \frac{401.85}{(3,10 + t)^{0,712}} \quad (\text{C-5})$$

$$1 \text{ dans } 10 \text{ ans} \quad i = \frac{578.35}{(2,80 + t)^{0,699}} \quad (\text{C-6})$$

$$1 \text{ dans } 100 \text{ ans} \quad i = \frac{797.63}{(2,60 + t)^{0,691}} \quad (\text{C-7})$$

Le volume pour le contrôle de la qualité s'établit tout d'abord de la façon suivante :

$$V_{\text{qualité}} = 6000 * 0,75 * ((25 - 1,5)/1000) = 106 \text{ m}^3$$

En utilisant l'équation C-4, on peut établir la largeur au fond de la noue en établissant tout d'abord la surface d'infiltration nécessaire:

$$A_{\text{inf}} = (V_Q \times d_f) / ((i \times (h_f + d_f)) \times t_f)$$

$$A_{\text{inf}} = (106 * 0,45) / ((15/1000) * ((0,2/2) + 0,45) * 24) = 241 \text{ m}^2$$

Le fond de la noue est donc approximativement $241 \text{ m}^2 / 200 \text{ m} = 1,2 \text{ m}$.

Le débit pouvant s'infiltrer par le fond de la noue est donc :

$$Q_{\text{inf}} = k A_{\text{inf}} i = k A_{\text{inf}} (h_{\text{stockage}} + d_{\text{media filtrant}}) / d_{\text{media filtrant}}$$

$$= ((15/1000)/3600) * 241 * ((0,2 + 0,45)/0,45) = 1,5 \text{ L/s}$$

Le volume de stockage disponible à chaque structure de contrôle peut être estimé avec l'équation suivante :

$$\text{Volume} = 0,5 * (d^2/\text{pente}) * (\text{Largeur} + (\text{pente des talus} * d))$$

d étant la hauteur des ouvrages de retenue (ici 0,2 m).

Le volume est donc, pour chaque portion entre deux ouvrages de retenue :

$$\text{Volume} = 0,5 * ((0,2^2)/0,005) * (1,2 + (3 * 0,2)) = 7,2 \text{ m}^3$$

Avec 5 réservoirs, on a donc une capacité de stockage de l'ordre de 36 m^3 , alors que le volume nécessaire est de 106 m^3 . On devra donc augmenter le stockage à fournir, soit en rehaussant la hauteur des barrages (à un maximum de 0,3 m) ou soit en modifiant les caractéristiques physiques de la noue (largeur, pente latérale, pente longitudinale).

On doit finalement vérifier le comportement de la noue pour les conditions de design (1 dans 10 ans), avec une validation pour un débit extrême de 1 dans 100 ans. Le coefficient C de la méthode rationnelle peut être évalué à partir du pourcentage d'imperméabilité :

$$C = 0,9 * (\%imp) + 0,2 * (1 - \%imp)$$

Dans ce cas, le coefficient serait donc de 0,73. Pour le coefficient à utiliser pour la récurrence 1 dans 100 ans, on devrait utiliser un facteur d'ajustement de 1,25, ce qui donnerait donc un coefficient C dans ce cas de 0,91.

En assumant que le temps de concentration serait 8 minutes, on peut calculer à l'aide des équations C-5

à C-7 les intensités de pluie correspondant à des récurrences 2 ans, 10 ans et 100 ans qui sont respectivement de 109,6 mm/h et 156,1 mm/h. Les débits de conception établis avec la méthode rationnelle seraient donc :

$$Q_{2 \text{ ans}} = CiA / 360 = 0,73 * 72,4 * 0,6/360 = 0,088 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{10 \text{ ans}} = CiA / 360 = 0,73 * 109,6 * 0,6/360 = 0,133 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{100 \text{ ans}} = CiA / 360 = 0,91 * 156,1 * 0,6/360 = 0,237 \text{ m}^3/\text{s}$$

Les niveaux d'eau dans la noue ainsi que les vitesses d'écoulement sont établis avec l'équation de Manning. Le coefficient de rugosité n peut varier selon une large gamme (en fonction notamment de la hauteur de l'herbe et de l'écoulement) et doit être choisi selon la récurrence analysée. Comme le montre la figure C-1, qui est discutée au chapitre 11, pour de faibles débits, le coefficient de Manning sera normalement plus élevé que pour de plus forts débits. On pourra par exemple utiliser un coefficient de 0,4 pour le débit 1 dans 2 ans, 0,04 pour celui 1 dans 10 ans et 0,03 pour le débit 1 dans 100 ans. L'équation de Manning est utilisée pour estimer les vitesses d'écoulement et s'assurer qu'elles sont sous les vitesses permises pour le type de revêtement envisagé pour la noue (faute de quoi on devra prévoir une protection appropriée).

Le type de revêtement pour la noue doit être adéquat pour permettre de soutenir sans érosion les débits 2 ans et 10 ans (qui est dans le présent cas le débit de conception). Le débit 100 ans doit également être déterminé pour vérifier les conditions extrêmes qui pourront être rencontrées et prévoir une évacuation d'urgence s'il y a lieu.

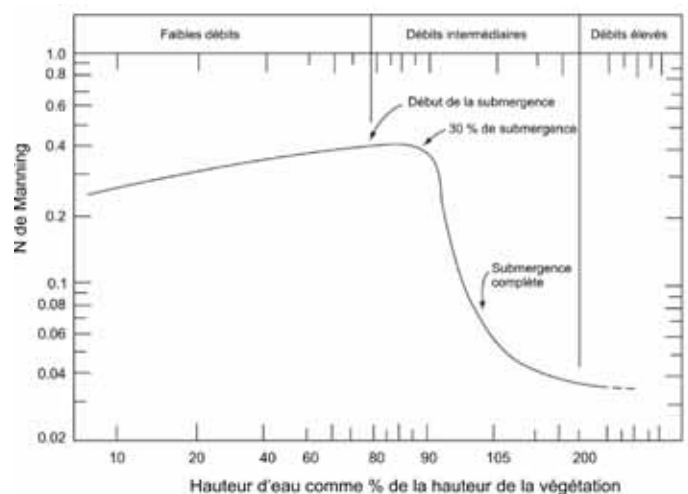


Figure C-1 Variation du coefficient n de Manning pour des canaux avec végétation (adapté de Wong *et al.*, 2006; Minton, 2005).

Soulignons par ailleurs que les calculs présentés sont basés sur l'hypothèse que les drains perforés sous la couche filtrante ont une capacité d'évacuation suffisante pour accepter les débits qui seront infiltrés, sans quoi ils pourront devenir une contrainte. On pourra utiliser une équation d'orifice pour évaluer cette capacité d'interception, avec un facteur d'ajustement pour tenir compte d'un éventuel colmatage (par exemple 50 % des perforations qui seraient bloquées).

C.3 BASSINS DE RÉTENTION

Bassin avec rétention permanente et niveaux de contrôle multiples

Normalement, la conception d'un bassin de rétention contrôlant un bassin tributaire de plus de 5 ha devrait se faire à l'aide d'un logiciel approprié puisqu'on peut maintenant réaliser efficacement toutes les étapes de conception adéquatement avec les outils informatiques actuellement disponibles. On mettra toutefois en évidence certains aspects spécifiques de la conception sur lesquels il faut porter une attention particulière.

D'un point de vue hydraulique, la conception d'un bassin est relativement simple et consiste essentiellement à déterminer sa configuration (volume, surface, pentes latérales) en fonction des apports et des débits de rejet qui sont permis. En particulier lorsqu'on veut effectuer un contrôle pour plusieurs types de critères (ce qui devrait être un objectif de base pour la plupart des projets), la conception de la structure de sortie devra se faire de sorte que plusieurs types d'équipement, mis en place à des niveaux différents, puissent effectuer globalement les contrôles qui sont requis. Différents types d'agencement pourront être envisagés pour l'ouvrage et le concepteur a

donc beaucoup de latitude pour la conception, qui devra souvent s'appuyer sur un processus d'essai et erreur avant d'en arriver à un agencement optimal.

Si on considère par exemple un bassin avec retenue permanente qui doit permettre de rencontrer les objectifs de contrôle de la qualité, de l'érosion dans le cours d'eau récepteur et des débits plus rares (1 dans 2 ans, 10 ans et 1 dans 100 ans). Comme le décrit le chapitre 11, les critères à retenir seraient donc tels que définis au tableau C.1.

Dans un cas pratique, chacun de ces volumes ne sera pas considéré indépendamment pour la conception du bassin mais ils s'emboîteront plutôt l'un dans l'autre, les volumes pour la qualité et le contrôle de l'érosion étant plus petits que ceux pour les récurrences plus rares. C'est l'ouvrage de contrôle à la sortie du bassin de rétention qui permettra de régulariser chacun des apports.

Qualité

L'hydrogramme de conception pour le contrôle de la qualité devrait en principe s'obtenir avec un logiciel, en utilisant une pluie de projet avec une quantité de pluie totale de 25 mm (voir chapitre 8). Si on considère toutefois pour fins de discussion un bassin tributaire de 10 ha pour un secteur résidentiel (unités unifamiliales avec un pourcentage imperméable de 30 %), le coefficient de ruissellement pourra alors s'évaluer à l'aide de la formule suivante :

$$C = 0,9 * (\%imp) + 0,2 * (1 - \%imp)$$

Donc, dans le cas présent, on aurait un coefficient de ruissellement de 0,41. Le volume pour le contrôle de la qualité devrait donc en principe être de :

$$\text{Volume}_{\text{qualité}} = 0,41 * 100\,000 * (25/1000) = 1\,025 \text{ m}^3$$

Tableau C.1

Résumé des critères de contrôle (MDE, 2000).

| | |
|-------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Qualité | Les critères pour la qualité peuvent être spécifiques pour un ou plusieurs polluants ou encore viser à traiter 90 % des événements annuels. Une quantité de pluie de 25 mm (avec une distribution de type Chicago et une durée de 6 heures) est recommandée ici. |
| Potentiel d'érosion | Rétention prolongée (24 h) des débits associés à la pluie de période de retour 1 an (pluie SCS – durée de 24 h pour établir les débits de pré-développement). |
| Débits de pointe Contrôle pour le cours d'eau récepteur | Les contrôles pour minimiser les inondations dans les cours d'eau récepteurs devraient être fixés en fonction des conditions de pré-développement, idéalement en s'assurant que les débits après développement pour les périodes de retour 1 dans 2 ans, 1 dans 10 ans et 1 dans 100 ans sont les mêmes que ceux prévalant avant le développement. Ces critères devraient idéalement être établis en analysant l'ensemble du bassin versant, de façon à pouvoir tenir compte des possibles effets néfastes d'addition des différents hydrogrammes. |

Ce qui correspond à un volume unitaire de $1\,025/10 = 102,5 \text{ m}^3/\text{ha}$. Des mesures in situ ont par ailleurs révélé en Ontario (SWAMP, 2006) que, pour la retenue permanente, des volumes plus importants devaient être alloués si on voulait atteindre les objectifs de contrôle de la qualité (figure 11.81 du chapitre 11). Pour un secteur résidentiel, le volume unitaire devrait plutôt être de l'ordre de $150 \text{ m}^3/\text{ha}$ (il sera plus élevé avec des secteurs plus imperméabilisés). En prenant cette valeur, on obtient donc un volume de $150 \text{ m}^3/\text{ha} * 10 = 1\,500 \text{ m}^3$.

Ce volume correspond au volume qui devrait toujours être maintenu dans le bassin, tous les autres volumes (dont celui pour la qualité) devant donc s'accumuler au-dessus de cette retenue permanente.

Érosion

Le deuxième volume concerne le contrôle pour l'érosion dans le cours d'eau récepteur, qui devrait être évalué en utilisant la pluie de conception 1 an, pour une durée de 24 heures. Si on veut établir de façon préliminaire sans modélisation ce volume, on peut tout d'abord évaluer le débit après développement et de récurrence 1 an. D'après les statistiques d'Environnement Canada, la quantité de pluie 1 dans 2 ans pour une durée de 24 heures est de 55,3 mm. Si on considère 75 % de cette valeur, on aurait donc pour la récurrence 1 an une quantité de 41,5 mm. Le volume de ruissellement serait donc de l'ordre de :

$$\text{Volume}_{\text{érosion}} = 0,41 * 100\,000 * (41,5/1000) = 1\,702 \text{ m}^3$$

Ce volume devrait être relâché sur une période de 24 heures, donc avec un débit maximum de 19,7 L/s. Soulignons

toutefois que ce calcul est approximatif puisqu'il ne tient pas compte du laminage qui se produira dans le bassin de rétention. En pratique, le volume de rétention s'établira plutôt à une fraction du volume de ruissellement (60-65 % selon MPCA, 2005); l'utilisation d'un logiciel approprié permettra de prendre en compte les effets du laminage sur le volume à prévoir.

Ce volume devra donc être disponible par-dessus la retenue permanente dans le bassin.

Contrôle quantitatif

Finalement, les ouvrages de régulation à la sortie du bassin devront permettre de maintenir les débits prévisibles après le développement aux valeurs qui prévalent avant le développement. Idéalement, les critères de contrôle devraient inclure les récurrences 2 ans, 10 ans et 100 ans mais, en pratique, on pourra contrôler seulement les récurrences 10 ans et 100 ans, en particulier si on a déjà un contrôle de la qualité et de l'érosion.

Typiquement, donc, l'ouvrage de régulation d'un bassin avec retenue permanente comprendra un orifice ou un déversoir en V installé à un niveau relativement bas, juste au niveau de la retenue permanente. Cet orifice ou déversoir en V permettra la relâche du débit pour le contrôle de l'érosion sur une période de 24 heures. Un autre déversoir mis en place un peu plus haut contrôlera le débit 10 ans, avec finalement un troisième déversoir pour le débit 100 ans. Il faudra dans tous les cas prévoir une conduite de vidange du bassin (installée au point bas avec une vanne normalement fermée) ainsi qu'un exutoire d'urgence si un événement très rare ou un blocage des déversoirs ou des orifices se produisait.

RÉFÉRENCES

- Claytor, R.A., and T.R. Schueler. 1996. *Design of Stormwater Filtering Systems*. The Center for Watershed Protection, Silver Spring, MD.
- Hantush, M., 1967. *Growth and Decay of Ground-water-Mounds in Response to Uniform Percolation*. *Water Resources Research*, 3(1): 227-234.
- Minton, G. (2005). *Stormwater treatment – Biological, Chemical and Engineering Principles*.. Resources Planning Associates, Seattle, Washington.
- MPCA (Minnesota Pollution Control Agency) (2005). *Minnesota Stormwater Manual*. Minnesota Stormwater Steering Committee, Minnesota.
- Washington State Department of Ecology (2005). *Stormwater Management in Western Washington – Volume III, Hydrologic Analysis and Flow Control Design/BMPs*. Publication 05-10-31, Water quality program, Washington State Department of Ecology, Washington.
- Wong, T. H. F. (2006). *Australia Runoff Quality – A Guide to Water sensitive urban design*. Engineers Australia, Melbourne.